

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

|                                       |   |                              |
|---------------------------------------|---|------------------------------|
| In re Patent Application of           | ) |                              |
|                                       | ) |                              |
| Stefan SCHULTE et al.                 | ) | Group Art Unit: Unassigned   |
|                                       | ) |                              |
| Application No.: New U.S. Application | ) | Examiner: Unassigned         |
|                                       | ) |                              |
| Filed: December 24, 2003              | ) | Confirmation No.: Unassigned |
|                                       | ) |                              |
| For: INTERFEROMETER SYSTEM,           | ) |                              |
| METHOD FOR RECORDING AN               | ) |                              |
| INTERFEROGRAM AND METHOD              | ) |                              |
| FOR PROVIDING AND                     | ) |                              |
| MANUFACTURING AN OBJECT               | ) |                              |
| HAVING A TARGET SURFACE               | ) |                              |

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed:

German Patent Application No. 101 30 902.3

Filed: June 27, 2001


In support of this claim, enclosed is a certified copy of said prior foreign application. Said prior foreign application is referred to in the Application Data Sheet filed herewith.

Acknowledgment of receipt of the certified copy is requested.

Respectfully submitted,

BURNS, DOANE, SWECKER & MATHIS, L.L.P.

Date: December 24, 2003

By:  (Reg No 33096)  
for Douglas H. Pearson  
Registration No. 47,851

P.O. Box 1404  
Alexandria, Virginia 22313-1404  
(703) 836-6620

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 30 902.3

**Anmeldetag:** 27. Juni 2001

**Anmelder/Inhaber:** Firma Carl Zeiss, Heidenheim an der Brenz/DE

**Bezeichnung:** Interferometersystem, Verfahren zum Aufnehmen eines Interferogramms und Verfahren zum Bereitstellen und Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche

**IPC:** G 01 B, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. November 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wehner

# DIEHL · GLAESER HITL & PARTNER

GESELLSCHAFT BÜRGERLICHEN RECHTS

Patentanwälte · Augustenstrasse 46 · D - 80333 München

Dr. Hermann O. Th. Diehl · Diplom-Physiker  
Joachim W. Glaeser · Diplom-Ingenieur\*  
Dr. Elmar Hiltl · Diplom-Chemiker  
Dr. Elisabeth Engelhard · Diplom-Biologin  
Dr. Frank Schorr · Diplom-Physiker

In Kooperation mit Diehl & Partner AG  
CH - 7513 Silvaplana · Schweiz

Patentanwälte · European Patent Attorneys  
München · Hamburg\*

27. Juni 2001

Neue deutsche Patentanmeldung

Z8446-DE FS/OC

Anmelder: Carl Zeiss  
D-89518 Heidenheim (Brenz)  
Deutschland

**Interferometersystem, Verfahren zum Aufnehmen  
eines Interferogramms und Verfahren zum Bereitstellen  
und Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche**

Kanzlei · Office: München

Telefon · Telephone  
(089) 17 86 36-0

Telefax · Facsimile  
(089) 1 78 40 33  
(089) 1 78 40 34

E-mail/Internet  
info@diehl.ccn.de  
www.diehl-patent.de

Anschrift · Address  
Augustenstrasse 46  
D - 80333 München

Postanschrift · Mailing address  
P.O. Box 34 0115  
D - 80098 München

5                   Interferometersystem, Verfahren zum Aufnehmen  
                  eines Interferogramms und Verfahren zum Bereitstellen  
                  und Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche

---

10                   Die vorliegende Erfindung betrifft ein Interferometersystem  
                  und ein Verfahren zur Aufnahme eines Interferogramms. Das  
                  Interferometersystem und das Verfahren werden vorzugsweise  
                  dazu eingesetzt, aus dem Interferogramm topologische Eigen-  
15                   schaften einer Objektfläche durch Auswerten des aufgenommenen  
                  Interferogramms zu ermitteln.

                  Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Bereitstellen  
                  und Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche, wobei  
20                   Abweichungen zwischen der Soll-Oberfläche und einer tatsäch-  
                  lichen Oberfläche des Objekts aus einem Interferogramm be-  
                  stimmt werden und das Objekt in Abhängigkeit von diesen Ab-  
                  weichungen bereitgestellt bzw. nachbearbeitet wird.

25                   Interferometersysteme werden herkömmlicherweise unter anderem  
                  zur Bestimmung von topologischen Eigenschaften einer Objekt-  
                  fläche eingesetzt. Es wird hierzu beispielsweise eine bekann-  
                  te Referenzfläche und eine zu vermessende Objektfläche mit  
                  kohärenter Strahlung beleuchtet, und ein von der Objektfläche  
30                   zurückgeworfenes Objektwellenfeld und ein von der Refer-  
                  renzfläche zurückgeworfenes Referenzwellenfeld werden bei-  
                  spielsweise auf einem Schirm zur Überlagerung gebracht, so  
                  daß dort ein Interferenzmuster entsteht. Aus dem Interfe-  
                  renzmuster kann ortsabhängig ein Unterschied des optischen  
35                   Wegs von Referenzfläche zu Schirm und Objektfläche zu Schirm  
                  bestimmt werden, woraus dann topologische Unterschiede zwi-

schen der Objektfläche und der Referenzfläche bestimmbar sind.

Es sind zwei Techniken gebräuchlich, um solche Wegdifferenzen mit einem Interferometersystem zu bestimmen:

Ein erster Ansatz ist die sogenannte Streifenmusterinterferometrie ("FPI", fringe pattern interferometry), bei der ein optischer Wegunterschied zwischen zwei Wellenfronten aus Positionen von Streifenzentren eines Interferenzmusters bestimmt wird. Es kann hier beispielsweise Bezug genommen werden auf R.A. Jones und P.L. Kadakia, "An Automated Interferogram Technique", Applied Optics, Vol. 7, pp. 1477-1482 (1968); Zanoni, U.S. Patent Nr. 4,159,522 veröff. 26. Juni 1979, und Zanoni, U.S. Patent Nr. 4,169,980, veröff. 2. Oktober 1979.

Der andere Ansatz ist die sogenannte Phasenmeßinterferometrie ("PMI", phase measuring interferometry), wo die Phasendifferenz zwischen den beiden Wellenfronten für jedes Pixel eines Detektors aus mehreren Interferenzmustern errechnet wird, wobei die mehreren Interferenzmuster aufgenommen werden, indem in diesen verschiedene Phasendifferenzen erzeugt werden. Es kann hierzu beispielsweise Bezug genommen werden auf J.H. Brunning et al., "Digital Wavefront Measuring Interferometer for Testing Optical Surfaces and Lenses", Applied Optics, Vol. 13, pp. 2693-2703 (1974); Gallagher et al., U.S. Patent Nr. 3,694,088 veröff. 26. September 1972, N. Balasubramanian, U.S. Patent Nr. 4,225,240 veröff. 30. September 1980; M. Schaham, Proceedings SPIE, Vol. 306, pp. 183-191 (1981); und H.Z. Hu, "Polarization heterodyne interferometry using a simple rotating analyzer. 1: Theory and error analysis", Applied Optics, Vol. 22, pp. 2052-2056 (1983).

Aus US 4,594,003 ist ein Interferometersystem bekannt, bei dem die Frequenz der Strahlungsquelle änderbar ist, so daß sich die Streifen des Interferenzmusters verlagern lassen, ohne daß eine optische Komponente des Interferometersystems, wie etwa eine Referenzfläche oder eine Objektfläche, mechanisch verschoben werden muß. Hierbei ist eine Änderung über einen solchen Bereich vorgesehen, daß die Streifen des Interferenzmusters über eine volle Streifenbreite verlagerbar sind. Es werden vier Interferenzmuster aufgenommen, und zwar bei vier jeweils verschiedenen in diesem Bereich verteilten Frequenzen der Strahlungsquelle. Für jeden Pixel des Detektors wird dann eine Phase  $\phi$  der optischen Wegdifferenz nach folgender Formel berechnet:

$$\phi(x,y) = \arctan \left( \frac{B(0) - B(2)}{B(1) - B(3)} \right),$$

wobei  $B(0)$  bis  $B(3)$  die Intensitäten der einzelnen Aufnahmen an dem entsprechenden Pixel sind.

Dieses bekannte Verfahren zum Bestimmen von Wegdifferenzen ist dann weniger geeignet, wenn in dem Interferometersystem eine weitere Fläche vorhanden ist, welche ebenfalls ein Wellenfeld zurückwirft, das mit den von der Referenzfläche und der Objektfläche zurückgeworfenen Wellenfeldern interferiert. Das entstehende Interferenzmuster ist dann von besonders komplexer Natur. Dieser Fall tritt beispielsweise auf, wenn eine Oberfläche einer transparenten Platte mit zwei im wesentlichen planparallelen Oberflächen vermessen werden soll.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Interferometersystem und ein Verfahren zum Aufnehmen eines Interferogramms vorzuschlagen, welches weniger empfindlich auf Störreflexionen ist.

Ferner ist es eine Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zum Bereitstellen und Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche anzugeben.

5 Die Erfindung geht hierbei von einem Interferometersystem aus, welches eine Referenzfläche, eine Objektfläche, eine Strahlungsquelle zum Beleuchten der Referenzfläche und der Objektfläche mit Strahlung einer einstellbaren Frequenz und  
10 einen ortsauflösenden Strahlungsdetektor umfaßt. Die Strahlungsquelle, die Referenzfläche, die Objektfläche und der Detektor sind derart angeordnet, daß sich ein von der Referenzfläche reflektiertes Referenzwellenfeld mit einem von der Objektfläche reflektierten Objektwellenfeld zu einem Interferenzmuster mit ortsabhängiger Intensitätsverteilung überlagert,  
15 welches auf den Detektor abgebildet ist. Hierbei ist das durch Überlagerung des Referenzwellenfelds und des Objektwellenfelds gebildete Interferenzmuster gestört durch ein mit diesen Wellenfeldern ebenfalls überlagertes Störwellenfeld, welches von einer Störinterferenz-Fläche zurückgeworfen  
20 wird, die gemeinsam mit der Referenzfläche bzw. der Objektfläche von der Strahlungsquelle beleuchtet ist.

Die Erfindung zeichnet sich hierbei durch einen Integrator aus, um mehrere Interferenzmuster ortsabhängig zu mitteln,  
25 welche bei jeweils verschiedenen Frequenzen der von der Strahlungsquelle emittierten Strahlung aufgenommen sind.

Das erzeugte Interferogramm entsteht also derart, daß für jeden Ort des Interferogramms ein Mittel gebildet wird aus  
30 den Intensitäten der einzelnen Interferenzmuster an diesem Ort. Die Mittelung ist hierbei vorzugsweise eine gewichtete Mittelung.

Werte der Gewichte für das gewichtete Mitteln oder/und Werte  
35 der verschiedenen Strahlungsfrequenzen werden vorzugsweise in Abhängigkeit von dem Abstand der Störinterferenz-Fläche von

der Objektfläche bzw. von der Referenzfläche eingestellt. Diese Werte werden hierbei vorzugsweise derart eingestellt, daß sich ein Einfluß der Störwellenfront auf das Interferogramm weitgehend herausmittelt. Es hat dann das durch Mittelung aus mehreren Interferenzmustern gebildete Interferogramm eine Gestalt bzw. Intensitätsverteilung, die in etwa der entspricht, wie sie die Wellenfronten der von der Objektfläche und der Referenzfläche zurückgeworfenen Wellenfronten alleine erzeugen würden, wenn die Störinterferenz-Fläche in dem Interferometersystem nicht vorhanden wäre.

Hierbei ist es weiterhin vorteilhaft, die optische Wegdifferenz zwischen Referenzfläche und Objektfläche einstellbar zu gestalten, da durch geeignete Wahl diese Abstände relativ zueinander ein Einfluß der Störwellenfront auf das Interferogramm weiter reduzierbar ist.

Vorteilhafterweise werden die mehreren Frequenzen zur Erzeugung der mehreren Interferenzmuster zeitlich nacheinander während einer Zeitdauer eingestellt, die einem Belichtungszeitintervall einer Kamera entspricht, die die Interferenzmuster aufnimmt. Dies hat eine besonders einfache Ausbildung des Integrators zur Folge, da dieser durch die Kamera selbst gebildet ist.

Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt:

Figur 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Interferometersystems,

Figur 2 ein Diagramm zur Erläuterung von verschiedenen Frequenzen von von einer Strahlungsquelle der Figur 1 abgegebenen Strahlung zur Erzeugung von Interferenzmustern,



Figur 3 eine zeitliche Abhängigkeit der von der Strahlungsquelle der Figur 1 emittierten Strahlung,

Figur 4 ein Diagramm, welches eine Interferogramm-Intensität in Abhängigkeit von einer optischen Wegdifferenz für ein durch das Interferometersystem der Figur 1 erzeugtes Interferenzmuster bei Einstellung der Frequenzen gemäß den Figuren 2 und 3 ergibt,

Figur 5 eine Interferogramm-Modulation in Abhängigkeit von einer optischen Wegdifferenz in dem Interferometersystem der Figur 1, wie sie sich bei einer weiteren zeitabhängigen Einstellung der Frequenzen der Strahlungsquelle ergibt,

Figur 6 eine der Figur 2 entsprechende Frequenzverteilung der von der Strahlungsquelle emittierten Strahlung,

Figur 7 eine der Figur 4 entsprechende Darstellung der Interferogramm-Intensität in Abhängigkeit der optischen Weglängendifferenz bei Einsatz der in Figur 6 gezeigten Frequenzverteilung,

Figur 8 eine Teilansicht einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Interferometersystems und

Figur 9 eine Teilansicht noch einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Interferometersystems.

Figur 1 zeigt ein Fizeau-Interferometersystem 1 zur Vermessung einer Oberfläche 5 einer planparallelen Platte 3. Die Platte 3 ist in einer Halterung 4 gehalten, welche über einen motorischen Antrieb 6 relativ zu einer Referenzfläche 23 verlagerbar ist.

Das Interferometersystem 1 umfaßt eine Lichtquelle 9, die einen Strahl 11 kohärenten Lichts mit einstellbarer Wellenlänge bzw. Frequenz emittiert. Die Lichtquelle 9 ist eine sogenannte ECDL-Quelle, ein Diodenlaser mit einstellbarer externer Kavität ("External Cavity Diode Laser").

Eine solche ECDL-Strahlungsquelle ist beispielsweise in dem Artikel "Widely Tunable External Cavity Diode Lasers" von Tim Day, Michael Brownell and I-Fan Wu beschrieben. Entsprechende Quellen können von der Firma New Focus, Inc., 1275 Reamwood Avenue, Sunnyvale, CA 94089, USA bezogen werden.

Der von der Quelle 9 emittierte Strahl 11 wird von einer Linse 13 auf eine rotierende Mattscheibe bzw. Streuscheibe 15 zur Unterdrückung räumlicher Kohärenz der Strahlung fokussiert. Die Streuscheibe 15 rotiert um eine in Figur 1 nicht dargestellte Drehachse.

Nach Durchlaufen des Fokus im Bereich der Streuscheibe 15 durchsetzt der sich aufweitende Strahl 11' einen halbdurchlässigen Spiegel 17 und wird sodann nach ausreichender Aufweitung durch einen Kollimator 19, der ein oder mehrere Linsen umfassen kann, parallelisiert. Der daraufhin parallelisierte Strahl 11" durchläuft eine Glasplatte 21, deren von dem Kollimator 19 wegweisende Fläche 23 die Referenzfläche zur Vermessung der Oberfläche 5 der planparallelen Platte 3 bildet. Die Referenzfläche 23 ist möglichst plan gefertigt. Eine dem Kollimator 19 zuweisende Fläche 25 der Platte 21 erstreckt sich unter einem Winkel zur Referenzfläche 23, so daß von dieser Fläche 25 reflektierte Strahlung nicht in sich zurückgeworfen wird und zu Störinterferenzen beiträgt.

Von der Referenzfläche 23 in sich zurückreflektierte Strahlung wird durch den Kollimator 19 wieder kollimiert, trifft auf den halbdurchlässigen Spiegel 17 und wird von diesem nach

Durchlaufen einer Blende 27 und eines Okulars 29 auf eine strahlungsempfindliche Schicht 31 einer CCD-Kamera 33 abgebildet. Ein durch die Referenzfläche 23 hindurchtretender Teil des Strahls 11 trifft auf die zu vermessende Fläche 5 der planparallelen Platte 3. Die zu vermessende Fläche 5 ist möglichst orthogonal zur Richtung des parallelen Strahls 11" ausgerichtet. Ein Teil der auf die zu vermessende Fläche 5 treffenden Strahlung wird wiederum in sich zurückreflektiert, durchläuft die Platte 21 erneut, wird ebenfalls von dem Kollimator 19 fokussiert und auf die strahlungsempfindliche Fläche 31 abgebildet. Die strahlungsempfindliche Schicht 31 der Kamera 33 bildet somit einen Schirm, auf dem die von der Referenzfläche 23 zurückgeworfene Strahlung mit der von der zu vermessenden Fläche 5 zurückgeworfenen Strahlung interferiert.

Ein Zweck der Interferometeranordnung 1 ist es, das durch die interferierende Überlagerung der von der Referenzfläche 23 zurückgeworfenen Strahlung und der von der zu vermessenden Fläche 5 zurückgeworfenen Strahlung erzeugte Interferenzmuster zu erfassen.

Wie vorangehend bereits angedeutet, ist die Platte 3 allerdings eine planparallele Platte, das heißt die zu vermessende Oberfläche 5 der Platte 3 und eine dieser gegenüberliegende andere Rückfläche 7 der Platte 3 erstrecken sich im wesentlichen parallel zueinander. Dies führt dazu, daß ein Teil der Strahlung 11, welcher die zu vermessende Fläche 5 durchsetzt, von der Rückfläche 7 der Platte 3 ebenfalls in sich selbst zurückgeworfen und auf die strahlungsempfindliche Schicht 31 abgebildet wird.

Somit interferiert auf der strahlungsempfindlichen Schicht 31 zum einen die von der Referenzfläche 23 zurückgeworfene Strahlung mit der von der zu vermessenden Fläche 5 zurückgeworfenen Strahlung, wobei hierzwischen eine optische Weglän-

gendifferenz  $2 \cdot C_0$  besteht, es interferiert auf der strahlungsempfindlichen Schicht 31 zum anderen die von der Referenzfläche 23 reflektierte Strahlung mit der von der Rückfläche 7 der planparallelen Platte 3 reflektierten Strahlung, wobei hierzwischen eine optische Weglängendifferenz  $2 \cdot C_2$  besteht, und es interferiert dort weiter die von der zu vermessenden Fläche 5 der Platte 3 reflektierte Strahlung mit der von deren Rückfläche 7 reflektierten Strahlung, wobei hierzwischen eine optische Weglängendifferenz von  $2 \cdot C_1$  besteht. Das auf der strahlungsempfindlichen Schicht 31 entstehende Interferenzmuster ist somit sehr kompliziert und schwer auszuwerten.

Die Kamera 33 liefert die Daten, die eine Strahlungsintensitätsverteilung auf der strahlungsempfindlichen Fläche 31 repräsentieren, über eine Datenleitung 35 an einen Rechner 37. Der Rechner 37 wiederum erzeugt eine Darstellung des Interferenzmusters auf der strahlungsempfindlichen Schicht 31 auf einem Sichtgerät 39, wobei in Figur 1 lediglich schematisch ein Interferenzmuster mit mehreren symbolischen Streifen 40 angedeutet ist. Der Rechner 37 speichert die Daten ferner und führt weiterhin eine Auswertung der Interferenzmuster durch, um hieraus Niveauunterschiede zwischen der Referenzfläche 23 und der zu vermessenden Fläche 5 bzw. die Topologie der zu vermessenden Fläche 5 zu bestimmen.

Das Interferometersystem 1 umfaßt ferner eine Steuerung 41, die von dem Rechner 37 über eine Steuerleitung 43 mit Frequenzdaten versorgt und freigegeben wird und die sodann zum einen über eine Leitung 45 die Frequenz der von der Quelle 9 auszugebenden Strahlung 11 zeitabhängig einstellt und zwar in Abhängigkeit eines von der Kamera 33 erzeugten Triggersignals 48, das über eine Leitung 47 auch dem Rechner 37 zugeführt wird.

Nachfolgend wird ein Verfahren zum Betrieb des Interferometersystems 1 beschrieben, wobei für die Platte 3 eine Dicke von 74mm angenommen ist, so daß sich unter Berücksichtigung des Brechungsindex des Glases der Platte 3 eine optische Wegdifferenz  $2 \cdot C_1$  von 214,39mm ergibt.

Die Steuerung 41 stellt zunächst über die Leitung 45 die Frequenz der Strahlungsquelle 9 auf eine erste Frequenz mit einem Wert  $f - \Delta f$  ein und startet über die Leitung 47 die Integration der CCD-Kamera 33, so daß das Interferenzmuster, welches durch die von den drei Flächen 23, 5 und 7 reflektierten Wellenfronten bei Beleuchtung mit Strahlung der Frequenz  $f - \Delta f$  erzeugt wird, auf die strahlungsempfindliche Fläche 31 der Kamera 33 fällt und die entsprechende Strahlungsintensität dort integriert wird. Nach 3,75msec stellt die Steuerung 41 die Quelle 9 auf eine zweite höhere Frequenz  $f$  ein, so daß das bei dieser Frequenz erzeugte Interferenzmuster als zweites Interferenzmuster während der Integrationszeit der Kamera 33 auf die strahlungsempfindliche Schicht 31 fällt und die entsprechenden Strahlungsintensitäten dort zu den Intensitäten des ersten Interferenzmusters integriert werden. Nach weiteren 7,5msec stellt die Steuerung 41 die Frequenz der Strahlungsquelle 9 auf eine noch höhere dritte Frequenz mit dem Wert  $f + \Delta f$  ein, so daß auch das bei dieser dritten Frequenz erzeugte Interferenzmuster ebenfalls innerhalb der Integrationszeit der Kamera auf deren Lichtsammel­fläche 31 fällt und die Intensitäten des dritten Interferenzmusters zu den Intensitäten des ersten und zweiten Interferenzmusters addiert werden. Die Beleuchtung mit der dritten Frequenz  $f + \Delta f$  dauert 3,75sec, und daraufhin veranlaßt die Steuerung 41 über die Leitung 47 ein Beenden der Integrationszeit der Kamera 33, und die Daten, die die gesamte während der Integrationszeit auf die Lichtsammel­fläche 31 gefallene Lichtintensität ortsabhängig repräsentieren, werden über die Leitung 35 an den Rechner 37 ausgelesen.

Die vorangehend beschriebene Integrationszeit der Kamera von 15msec wurde in dem Ausführungsbeispiel gewählt, um bei der gegebenen Laserleistung ein Bild guter Qualität zu erhalten. Je nach zur Verfügung stehender Laserenergie und anderen Randbedingungen können auch andere Integrationszeiten eingestellt werden.

Diese Daten repräsentieren damit die Summe aus drei verschiedenen Interferenzmustern, wobei das erste Interferenzmuster mit Strahlung der Frequenz  $f - \Delta f$  aufgenommen wurde, das zweite Interferenzmuster mit der Frequenz  $f$  aufgenommen wurde und das dritte Interferenzmuster mit der Frequenz  $f + \Delta f$  aufgenommen wurde. Bei der Integration der drei Interferenzmuster wird das mit der mittleren Frequenz  $f$  aufgenommene Interferenzmuster im Vergleich zu den bei den beiden anderen Frequenzen  $f - \Delta f$ ,  $f + \Delta f$  aufgenommenen Interferenzmustern mit doppeltem Gewicht berücksichtigt.

Diese gewichtete Beleuchtung mit drei verschiedenen Frequenzen ist nochmals in den Figuren 2 und 3 erläuternd dargestellt. In Figur 2 ist die spektrale Leistungsdichte in willkürlichen Einheiten in Abhängigkeit von der Wellenzahl  $k$  der Strahlung der Quelle 9 dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die Beleuchtung mit den drei verschiedenen Frequenzen mit den relativen Gewichten 0,5, 1 und 0,5 erfolgt. Diese spektrale Leistungsdichteverteilung kann als Formel wie folgt dargestellt werden:

$$F(k) = A \cdot \left[ \frac{1}{2} \delta(k - (k_0 - \Delta k)) + \delta(k - k_0) + \frac{1}{2} \delta(k - (k_0 + \Delta k)) \right]$$

Gleichung (1)

Hierbei ist

$\delta$  die Dirac'sche Deltafunktion,

$k$  die Wellenzahl  $\frac{2\pi}{\lambda}$ ,

$k_0$  die Ausgangswellenzahl  $\frac{2\pi}{\lambda_0}$  und

$\Delta k$  die der Frequenzänderung  $\Delta f$  entsprechende Wellenzahländerung.

5 Im vorliegenden Fall wurde  $\lambda_0 = 632,8 \text{ nm}$  gewählt. Auf diesen Wert der Wellenlänge ist die Strahlungsquelle 9 einstellbar, und diese Einstellung hat den Vorteil, daß für das Interferometersystem abgesehen von der Strahlungsquelle ein Aufbau und Komponenten gewählt werden können, wie sie von mit herkömmlichen  
10 chen He-Ne-Lasern betriebenen Interferometern her bekannt sind.

Es ergibt sich das Interferogramm als Fouriertransformierte der spektralen Leistungsdichte zu

15

$$I(x) = \int_0^\infty F(k) \cdot \cos kx \cdot dx = A \cdot \frac{1}{2} \{ \cos(k_0 - \Delta k) \cdot x + \cos(k_0 + \Delta k) \cdot x \} + A \cdot \cos(k_0 x)$$

$$= A \cdot \cos k_0 x \cdot (1 + \cos \Delta k x)$$

Gleichung (2)

Es ergibt sich somit für das Interferogramm eine Schwebungswellenzahl von  $\Delta k$ . Ein Verlauf der Funktion  $I(x)$  ist für  
20 einen beliebigen Punkt in dem Interferogramm in Figur 4 schematisch dargestellt. Eine Einhüllende der gezeigten Kurven wird auch als Interferenzkontrast bzw. Modulation bezeichnet. Es ergibt sich somit, daß die Modulation in Abhängigkeit von  
25 der Entfernung von der Referenzfläche periodisch zu- und abnimmt, wobei für bestimmte Entfernungen die Modulation auf Null zurückgeht.

Ein vorteilhafter Betrieb des Interferometersystems 1 ist  
30 dann gegeben, wenn die reflektierenden Flächen 23, 5, 7 relativ zueinander so angeordnet werden, daß die durch den Abstand zwischen der zu vermessenden Fläche 5 und der Rückfläche 7 erzeugte optische Wegdifferenz  $2 \cdot C_1$  in etwa mit dem ersten Minimum der Modulation zusammenfällt, die durch den

Abstand zwischen Referenzfläche 23 und der Rückfläche 7 der Platte 3 erzeugte Weglängendifferenz  $2 \cdot C_2$  in etwa mit dem zweiten Minimum der Modulation zusammenfällt und die durch den Abstand zwischen Referenzfläche 23 und zu vermessender Fläche 5 erzeugte Weglängendifferenz  $C_0$  in etwa mit dem zweiten Maximum der Modulation zusammenfällt. Hierzu wird zunächst die Frequenzänderung  $\Delta f$  bzw. Wellenzahländerung  $\Delta k$  wie folgt ermittelt:

Es wird zunächst  $1 + \cos \Delta k \cdot C_1 = 0$  gesetzt, woraus sich  $\Delta k \cdot C_1 = \pi$  ergibt. Da im vorliegenden Beispiel der Plattendicke  $C_1 = 214,139 \text{ mm}$  angenommen ist, ergibt sich  $\Delta k = 14,67 \text{ m}^{-1}$ . Sodann wird der Abstand der Platte 3 von der Referenzfläche 23 über den Antrieb 6 so eingestellt, daß sich  $\Delta k \cdot C_2 = 3\pi$  ergibt. Hierbei ist anzumerken, daß die zuletzt genannte Bedingung mit lediglich vergleichsweise geringer Genauigkeit einzuhalten ist, da die Modulation gemäß Figur 4 quadratische Minima aufweist und diese somit vergleichsweise unempfindlich gegenüber Änderungen der optischen Wegdifferenz sind.

Bei der beschriebenen Einstellung von  $\Delta k$  und dem Abstand der Rückfläche 7 von der Referenzfläche 23 ergibt sich dann automatisch die optische Weglängendifferenz  $2 \cdot C_0$  so, daß sie in etwa mit dem zweiten Maximum der Modulation gemäß Figur 4 zusammenfällt.

Es werden somit die durch die Rückfläche 7 der Platte 3 hervorgerufenen Störinterferenzen durch die während der Integrationszeit der Kamera 33 durchgeführte gewichtete Mittelung wirksam herausgemittelt, so daß das durch Mittelung gewonnene Interferogramm, abgesehen von einem Gleichlichtanteil, lediglich ein Streifenmuster aufweist, wie es aus der Interferenz alleine der von der Referenzfläche 23 zurückgeworfenen Wellenfront mit der von der zu vermessenden Fläche 5 zurückgeworfenen Wellenfront entstehen würde. Dieses vergleichsweise einfache und ungestörte Interferenzmuster wird dann einem



bekannten Auswerteverfahren für Streifenmuster unterworfen, um daraus die Topologie der zu vermessenden Fläche 5 zu bestimmen.

5 Der Betrieb des Interferometersystems 1 ist nicht darauf beschränkt, die Frequenz der Strahlungsquelle 9 mit dem in Figur 3 gezeigten Zeitschema anzusteuern. Als Variante ist nachfolgend die Möglichkeit diskutiert, die Frequenz der Strahlungsquelle 9 mit einer sinusförmigen Zeitabhängigkeit  
10 zu ändern. Es sei hier zunächst für die Interferogrammintensität  $I$  angenommen:

$$I(x) = I_0 \cdot [1 + V \cdot \cos(k \cdot x - \Phi_0)] ,$$

Gleichung (3)

15

wobei

20  $k$  die Wellenzahl der Strahlung ist, die in dieser Formel näherungsweise als konstant angenommen werden kann,  
 $x$  die optische Weglängendifferenz,  
 $\Phi_0$  eine Interferogrammphase und  
 $V$  ein Interferenzkontrast

ist.

25 Aufgrund der sinusförmigen Änderung der Frequenz ergibt sich die Interferogrammphase dann zu

$$\Phi_0 = \Phi_0(t) = \Phi_0' + A \cdot \sin \omega t ,$$

30

Gleichung (4)

wobei

35  $\Phi_0'$  ein mittlerer Phasenwert,  
 $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit der Phasenmodulation und  
 $A$  eine Phasenmodulationsamplitude

ist. Eingesetzt in Gleichung (3) ergibt sich somit

$$I(x,t) = I_0 \cdot [1 + V \cdot \cos(k \cdot x - \Phi_0' - A \cdot \sin \omega t)]$$

5

Gleichung (5)

Die Modulationsperiode für die Frequenzänderung der Strahlung wird nun derart eingestellt, daß ein ganzzahliges Vielfaches hiervon der Integrationszeit der Kamera 33 entspricht. Das  
10 zeitlich gemittelte Interferogramm berechnet sich somit zu

$$\begin{aligned} \bar{I}(x) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} I_0 \cdot [1 + V \cdot \cos(k \cdot x - \Phi_0' - A \cdot \sin \omega t)] \cdot d(\omega t) \\ &= I_0 + I_0 \cdot V \cdot \cos(k \cdot x - \Phi_0') \cdot \underbrace{\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \cos(A \cdot \sin \omega t) \cdot d(\omega t)}_{J_0(A)} \\ &\quad + I_0 \cdot V \cdot \sin(k \cdot x - \Phi_0') \cdot \underbrace{\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sin(A \cdot \sin \omega t) \cdot d(\omega t)}_0 \\ \bar{I}(x) &= I_0 \cdot [1 + V \cdot \cos(k \cdot x - \Phi_0') \cdot J_0(A)] \end{aligned}$$

Gleichung (6)

wobei  $J_0(A)$  die Besselfunktion 0-ter Ordnung der Phasenmodulationsamplitude A ist. Diese Funktion ist in Figur 5 dargestellt.  
15

Es lassen sich nun Phasenmodulationsamplituden A finden, für die Interferenzen zwischen den von der zu vermessenden Fläche  
20 5 und der Rückfläche 7 der Platte 3 zurückgeworfenen Wellenfronten verschwinden. Es muß die Frequenzmodulationsamplitude der Strahlungsquelle 9 somit so eingestellt werden, daß die Phasenmodulation für die optische Weglängendifferenz  $2 \cdot C_1$  der ersten Nullstelle der Besselfunktion aus

Gleichung (6) entspricht. Dies ist der Fall für  $A_1 = 0,76547 \cdot \pi$ . Durch Ändern des Abstands zwischen der Referenzfläche 23 und der Platte 3 wird dann weiter erreicht, daß die optische Weglängendifferenz  $2 \cdot C_2$  dem zweiten Minimum der Besselfunktion der Gleichung (6) entspricht, was für  $A_2 = 1,7571 \cdot \pi$  der Fall ist. Das Verhältnis der optischen Wegdifferenzen ist somit gegeben durch die beiden ersten Nullstellen der Besselfunktion  $J_0(A)$ :

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{A_2}{A_1} = 2,2955.$$

Gleichung (7)

Andererseits gilt  $C_0 = C_2 - C_1$ , und für die zu vermessende Weglängendifferenz  $C_0$  ergibt sich die Amplitude

$$A_0 = \frac{C_0}{C_1} \cdot A_1 = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot A_1 = 0,9916 \cdot \pi.$$

Gleichung (8)

An dieser Stelle hat die Besselfunktion  $J_0(A)$  den Wert

$$J_0(A_0) = -0,297 \approx -0,3.$$

Gleichung (9)

In dieser Anordnung interferieren drei Teilstrahlen mit in etwa gleicher Grundintensität, wobei jedoch in dem gewichtet gemittelten bzw. integrierten Interferogramm nur die Streifenmuster von zwei interferierenden Teilstrahlen sichtbar sind. Die übrigen Interferenzen mitteln sich heraus, bilden allerdings einen den Kontrast reduzierenden Gleichlichtanteil. Der effektive Kontrast rechnet sich zu

$$V_{eff} = V \cdot J_0(A_0) = \frac{2}{3} \cdot |-0,3| = 0,2.$$

Gleichung (10)

Dieser Kontrast ist ausreichend um die Lage der Streifen 40 zu bestimmen und aus der Auswertung des Streifenmusters auf die Topologie der zu vermessenden Fläche 5 schließen zu können. Es sei jedoch angemerkt, daß die Einstellung der Strahlungsfrequenz nach dem in Figur 3 gezeigten Schema zu einem höheren effektiven Kontrast führt.

Es sei nun noch als weiteres Ausführungsbeispiel beispielhaft der Fall erläutert, daß die Strahlungsquelle 9 derart angesteuert wird, daß sie eine in Figur 6 gezeigte gaußförmige spektrale Leistungsdichte

$$A(k) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \sigma \cdot e^{-\frac{(k-k_0)^2 \cdot \sigma^2}{2}}$$

Gleichung (11)

emittiert, wobei

$k$  die Wellenzahl  $\frac{2\pi}{\lambda}$ ,

$k_0$  die Schwerpunktwellenzahl  $\frac{2\pi}{\lambda_0}$  und

$\sigma$  die Breite der Gaußfunktion

ist.

Für diese spektrale Verteilung ist nun eine zeitabhängige Ansteuerfunktion für die Strahlungsfrequenz zu bestimmen. Hierbei ist der Zusammenhang

$$\frac{dk(t)}{dt} = \frac{1}{A[k(t)]}$$

Gleichung (12)

zu beachten. Diese Gleichung kann durch den Rechner 37 numerisch gelöst werden, um schließlich ein der Figur 3 entspre-

chendes Zeitschema für die Ansteuerung der Strahlungsfrequenz zu erhalten.

Bei der spektralen Leistungsdichte gemäß Figur 6 ergibt sich dann eine Abhängigkeit der Interferogrammintensität von der Weglängendifferenz, wie sie in Figur 7 dargestellt ist. Hieraus ist ersichtlich, daß bei geringen Abständen von der Referenzfläche 23 hohe Interferenzkontraste erreichbar sind, während der Kontrast bei größeren Abständen der Referenzfläche 23 stark abfällt. Dieser Kontrastabfall ist so stark, daß bei Anordnung der Platte 3 dicht neben der Referenzfläche 23 durch die Rückseite 7 hervorgerufene Interferenzen sich weitgehend herausmitteln und lediglich durch die zu vermessende Fläche 5 hervorgerufene Interferenzen zu dem Streifenmuster des gemittelten Interferogramms beitragen.

Dies entspricht einem Interferogramm mit einer Strahlung zeitlich konstanter Frequenz und einer reduzierten Kohärenzlänge, die kürzer ist als die optische Dicke  $C_1$  der Platte 3. Die zeitabhängige Frequenzänderung einer Strahlungsquelle großer Kohärenzlänge hat somit eine Wirkung, die einer Reduzierung der zeitlichen Kohärenz für bestimmte Längen entspricht. Unter Bezugnahme auf Figur 4 bedeutet dies, daß die zeitabhängige Frequenzänderung dazu geführt hat, daß in den Bereichen der Modulationsminima die Kohärenz der Strahlung zerstört wurde.

Nachfolgend werden weitere Varianten der in den Figuren 1 bis 7 erläuterten Ausführungsformen dargestellt. Hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Funktion einander entsprechende Komponenten sind mit den Bezugszahlen aus den Figuren 1 bis 7 bezeichnet, zur Unterscheidung jedoch mit einem zusätzlichen Buchstaben versehen. Zur Erläuterung wird auf die gesamte vorangehende Beschreibung jeweils Bezug genommen.

Figur 8 zeigt eine Teilansicht eines Interferometersystems 1a, welches ähnlich aufgebaut ist wie das in Figur 1 gezeigte Interferometersystem. Allerdings dient das Interferometersystem 1a nicht zur Vermessung einer planparallelen Platte sondern einer konzentrischen Meniskuslinse 3a. Im Strahlengang nach einer Referenzplatte 21a mit einer Referenzfläche 23a ist ein Aplanar-Kollimator 51 mit einer Mehrzahl Linsen 52 bis 56 vorgesehen, welcher die parallele Strahlung 11"a in einem Punkt 57 fokussiert, der gleichzeitig Krümmungsmittelpunkt von Oberflächen 5a und 7a der konzentrischen Meniskuslinse 3a ist.

Das Interferometersystem 1a entspricht ansonsten dem in Figur 1 gezeigten Interferometersystem und wird nach einem Verfahren betrieben, wie es im Zusammenhang mit dem Interferometersystem der Figur 1 erläutert wurde. Dies heißt, es wird die Frequenz der Strahlungsquelle zeitabhängig so angesteuert, daß Störinterferenzen, die durch eine gerade nicht vermessene Oberfläche, insbesondere die Fläche 7a, der konzentrischen Meniskuslinse 3a oder aber durch andere optisch wirksame Komponenten im Strahlengang hervorgerufen werden, sich zeitlich weitgehend herausmitteln.

Es können die Flächen 5a und 7a der Meniskuslinse 3a auch vermessen werden, indem die Linse umgekehrt, das heißt mit ihrer konvexen Fläche 7a zu dem Kollimator 51 hinweisend, und vor dem Fokuspunkt 57 im Strahlengang positioniert wird.

Figur 9 zeigt eine Variante des in Figur 8 gezeigten Interferometersystems. Im Unterschied hierzu ist bei dem Interferometersystem 1b gemäß Figur 9 eine Referenzfläche 23a jedoch nicht an einer separaten Referenzplatte sondern an einer präzise gefertigten, dem Prüfling zugewandten Fläche der Linse 56b eines Aplanar-Kollimators 51 vorgesehen. Auch das Interferometersystem 1b dient zur Vermessung einer konzentrischen Meniskuslinse.

Neben den vorangehend beschriebenen Zeitabhängigkeiten der Frequenz der Strahlungsquelle zur Erzeugung des Interferogramms können auch andere Zeitabhängigkeiten gewählt werden, welche sich als günstig erweisen. Wesentlich ist hierbei, daß sich Interferenzeffekte, die von Oberflächen hervorgerufen werden, die nicht vermessen werden sollen, sich zeitlich wenigstens teilweise herausmitteln.

Das Interferometersystem wurde vorangehend als ein Fizeau-Interferometer beschrieben. Es ist jedoch auch möglich, alternative Interferometertypen einzusetzen, etwa einen Michelson-Interferometeraufbau oder einen Twyman-Green-Interferometeraufbau.

In den vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispielen wurde als Integrator zur gewichteten Mittelung der bei verschiedenen Beleuchtungsfrequenzen erzeugten Interferenzmuster die CCD-Kamera eingesetzt. Es ist jedoch auch möglich, andere Kamertypen einzusetzen, welche eine Integrationszeit aufweisen, auf die die Sequenz der zeitlich nacheinander eingestellten Beleuchtungsfrequenzen abgestimmt ist. Ferner ist es möglich, für mehrere Beleuchtungsfrequenzen separate Kamerabilder zu erzeugen, diese dem Rechner zuzuführen und die Integration bzw. gewichtete Mittelung im Rechner Pixel für Pixel durchzuführen. Als Pixel sei im Rahmen dieser Anmeldung eine Auflösungseinheit des digitalisierten Interferenzbildes verstanden, welche unter anderem durch das Kamerasystem gegeben ist. Die Mittelung im Rechner kann hierbei auch für Gruppen von Pixeln, das heißt mit einer Auflösung, die geringer ist als die Kameraauflösung, durchgeführt werden.

Das vorangehend beschriebene Interferometersystem und das Verfahren zum Aufnehmen des Interferogramms wird vorteilhafterweise eingesetzt in einem Verfahren zur Bereitstellung

eines Objekts bzw. in einem Verfahren zum Herstellen eines Objekts mit einer vorbestimmten Soll-Oberfläche.

5 Soll beispielsweise die im Zusammenhang mit Figur 1 erläuterte planparallele Platte hochpräzise gefertigt werden, so wird diese im Strahlengang des Interferometersystems plazi- und ein Interferogramm nach dem vorangehend beschriebenen Verfahren aufgenommen. Aus dem Interferogramm werden Abwei- chungen der Fläche 5 von der planen Soll-Gestalt ermittelt. 10 Aus diesen Abweichungen wird eine Nachbearbeitung geplant. Insbesondere werden aus diesen Abweichungen Orte auf der Oberfläche 5 bestimmt, an denen eine Nachbearbeitung, insbe- sondere durch weiteren Materialabtrag, erfolgen soll. Nach Vornahme der Nachbearbeitung wird gegebenenfalls erneut ein 15 Interferogramm aufgenommen und gegebenenfalls werden weitere Nachbearbeitungen vorgenommen. Ergibt sich aus dem aufge- nommenen Interferogramm, daß Abweichungen zwischen der Ge- stalt der Oberfläche 5 und der planen Soll-Gestalt geringer als ein vorbestimmtes Maß sind, so wird die Platte bereitge- 20 stellt bzw. ausgeliefert.

25 Dieses Bereitstellungs- bzw. Herstellungsverfahren kann auf jegliches anderes Objekt angewendet werden, welches eine vorbestimmte Oberfläche aufweisen soll. Vorangehend wurde bereits die Anwendung auf eine konzentrische Meniskuslinse erläutert. Es sind jedoch auch Anwendungen auf jegliche ande- re Objekte denkbar.



# Patentansprüche

## 1. Interferometersystem, umfassend:

- eine Referenzfläche (23),
- eine Halterung für ein eine Objektfläche (5) bereitstellendes Objekt (7),
- eine Strahlungsquelle (9) zur Emission von Strahlung einer einstellbaren Frequenz auf die Referenzfläche (23) und die Objektfläche (5), und
- einen ortsauflösenden Strahlungsdetektor (31),

wobei die Strahlungsquelle (9), die Referenzfläche (23), die Halterung und der Strahlungsdetektor (31) derart angeordnet sind, daß sich ein von der Referenzfläche (23) reflektiertes Referenzwellenfeld mit einem von Objektfläche (5) reflektierten Objektwellenfeld zu einem auf den Strahlungsdetektor (31) abgebildeten Interferenzmuster mit ortsabhängiger Intensitätsverteilung überlagern,

wobei eine Störinterferenz-Fläche (7) vorgesehen ist, die gemeinsam mit der Referenzfläche (23) oder/und der Objektfläche (5) von der Strahlungsquelle (9) bestrahlt ist, und

wobei das Interferometersystem ferner eine Steuerung (37, 41) zum Einstellen einer Mehrzahl verschiedener Frequenzen ( $f$ ,  $f+\Delta f$ ,  $f-\Delta f$ ) der von der Strahlungsquelle (9) emittierten Strahlung umfaßt, gekennzeichnet durch einen Integrator (33), um die bei verschiedenen Frequenzen auf dem Strahlungsdetektor (31) überlagerten Interferenzmuster ortsabhängig zu mitteln.

## 2. Interferometersystem nach Anspruch 1, wobei der Strahlungsdetektor (31) durch eine CCD-Kamera (33) bereitgestellt ist.

3. Interferometersystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Integrator durch den Strahlungsdetektor (31) gebildet ist.

5

4. Interferometersystem nach Anspruch 3, wobei die Steuerung (41, 37) mehrere, insbesondere sämtliche, der verschiedenen Frequenzen zeitlich nacheinander während einer Zeitdauer einstellt, die einer Integrationszeit des Detektors (33) entspricht.

10

5. Verfahren zum Aufnehmen eines Interferogramms, umfassend:

15

Beleuchten einer Referenzfläche (23) und einer Objektfläche (5) mit kohärenter Strahlung vorbestimmter Frequenz,

20

Überlagern eines von der Referenzfläche (23) reflektierten Referenzwellenfeldes und eines von der Objektfläche (5) reflektierten Objektwellenfeldes derart, daß auf einem Schirm (31) ein Interferenzmuster mit ortsabhängiger Strahlungsintensitätsverteilung entsteht,

25

wobei das Beleuchten nacheinander mit einer Mehrzahl verschiedener Strahlungsfrequenzen ( $f$ ,  $f+\Delta f$ ,  $f-\Delta f$ ) erfolgt, so daß auf dem Schirm nacheinander den verschiedenen Strahlungsfrequenzen jeweils zugeordnete Interferenzmuster entstehen, und

30

wobei das Interferogramm dadurch gebildet wird, daß für einen jeden Ort des Interferogramms Intensitäten der Mehrzahl Interferenzmuster an dem entsprechenden Ort gewichtet gemittelt werden.

35

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Gewichte für das gewichtete Mitteln durch Einstellen von Zeitdauern der Beleuchtungen mit den jeweils verschiedenen Strahlungsfrequenzen eingestellt werden.

5

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei mit Abstand von der Objektfläche (5) oder/und mit Abstand ( $C_2$ ) von der Referenzfläche (23) eine Störinterferenz-Fläche (7) angeordnet ist, die gemeinsam mit der Objektfläche (5) bzw. der Referenzfläche (23) beleuchtet wird, und wobei Werte der verschiedenen Strahlungsfrequenzen oder/und Werte der Gewichte für das gewichtete Mitteln in Abhängigkeit von dem Abstand eingestellt werden.

10

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei zwischen einem optischen Weg von der Referenzfläche (23) zu dem Detektor (31) und einem optischen Weg von der Objektoberfläche (5) zu dem Detektor (31) eine erste Weglängendifferenz ( $C_0$ ) besteht, wobei zwischen einem optischen Weg von der Referenzfläche (23) zu dem Detektor (31) und einem optischen Weg von der Störinterferenz-Fläche (7) zu dem Detektor (31) eine zweite Weglängendifferenz ( $C_2$ ) besteht, wobei eine dritte Differenz ( $C_1$ ) zwischen der ersten und der zweiten Weglängendifferenz besteht, wobei das Beleuchten mit drei verschiedenen Strahlungsfrequenzen erfolgt, nämlich einer mittleren Frequenz ( $f$ ), einer höheren Frequenz ( $f+\Delta f$ ) und einer niedrigeren Frequenz ( $f-\Delta f$ ), wobei die drei Frequenzen paarweise voneinander einen Frequenzabstand ( $\Delta f$ ) aufweisen, wobei der Frequenzabstand ( $\Delta f$ ) derart eingestellt wird, daß die Gleichung

20

25

30

$$\Delta k \cdot C_1 = \pi$$

erfüllt ist, wobei  $\Delta k$  die dem Frequenzabstand ( $\Delta f$ ) entsprechende Wellenzahländerung ist,

35

wobei der Abstand zwischen der Störinterferenz-Fläche und dem Detektor derart eingestellt wird, daß die Gleichung

$$\Delta k \cdot C_2 = 3\pi$$

erfüllt ist, und wobei bei der Wichtung das der niedrigen Frequenz zugeordnete Interferenzmuster und das der höheren Frequenz zugeordnete Interferenzmuster einem jeweils einfachen Gewicht und das der mittleren Frequenz zugeordnete Interferenzmuster mit einem doppelten Gewicht berücksichtigt werden.

9. Verfahren zum Bereitstellen eines Objekts (3) mit einer Soll-Oberfläche, umfassend die Schritte:

- Aufnehmen eines Interferogramms mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei das Objekt (3) die Objektfläche (5) bereitstellt,
- Auswerten des Interferogramms und Bestimmen von Abweichungen zwischen der Objektfläche und der Soll-Oberfläche in Abhängigkeit von dem Interferogramm,
- Bereitstellen des Objekts, wenn die Abweichungen kleiner sind als ein vorbestimmter Schwellenwert und
- Nicht-Bereitstellen des Objekts, wenn die Abweichungen größer sind, als der vorbestimmte Schwellenwert.

10. Verfahren zum Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche, umfassend die Schritte:

- Aufnehmen eines Interferogramms mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei das Objekt die Objektfläche bereitstellt,
- Auswerten des Interferogramms und Bestimmen von Abweichungen zwischen der Objektfläche und der Soll-Oberfläche in Abhängigkeit von dem Interferogramm,
- Abtragen von Oberflächenbereichen des Objekts an Orten, welche in Abhängigkeit von den Abweichungen zwischen Objekt- und Soll-Oberfläche be-

stimmt werden, um die Objektoberfläche des Körpers der Soll-Oberfläche anzupassen.

- 5 11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, wobei der herzustellende Körper eine transparente planparallele Platte oder eine konzentrische Meniskuslinse ist.

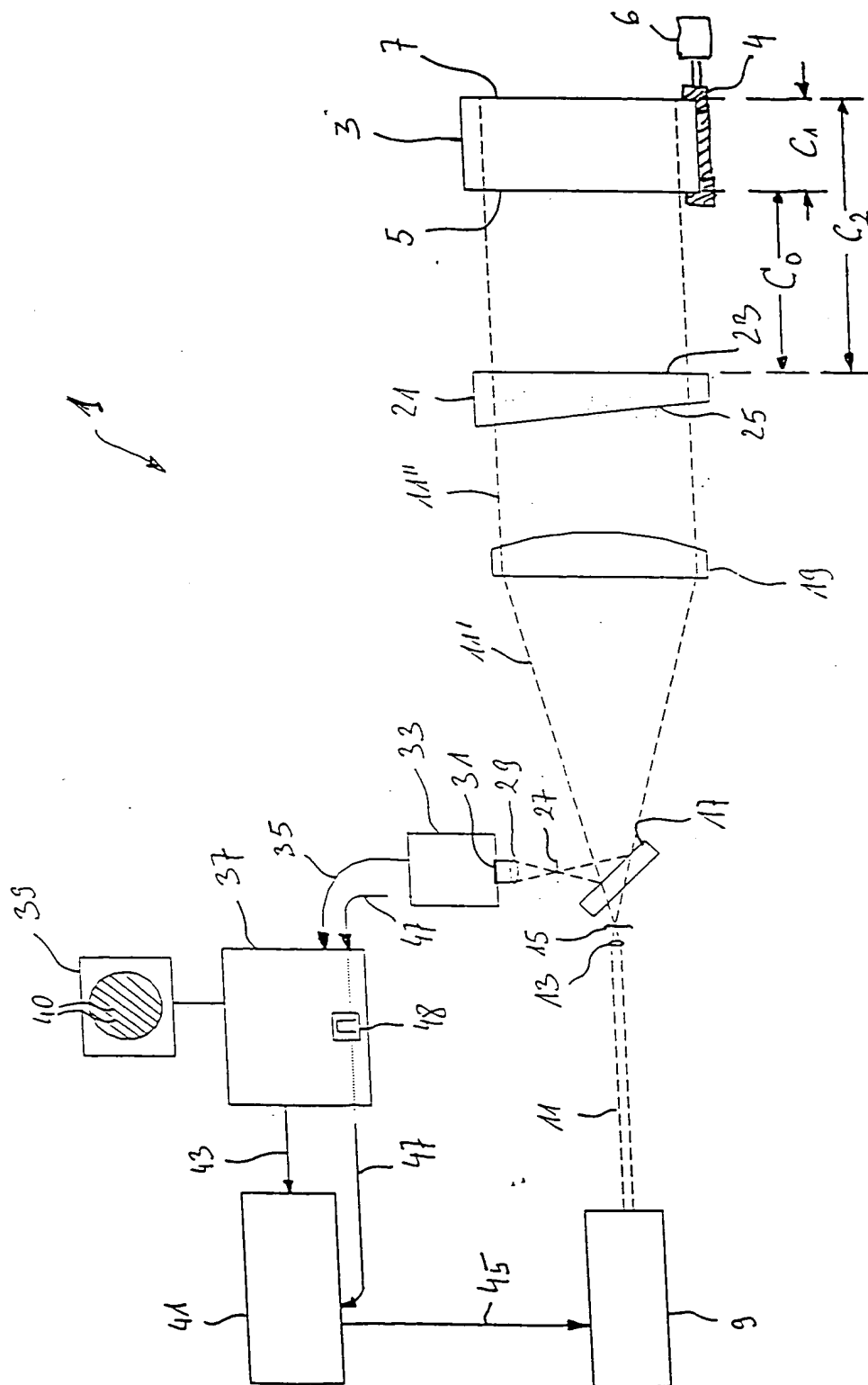
### Zusammenfassung

Es wird ein Interferometersystem vorgeschlagen umfassend eine Referenzfläche, eine Halterung für ein eine Objektfläche  
5 bereitstellendes Objekt, eine Strahlungsquelle zur Emission von Strahlung einer einstellbaren Frequenz auf die Referenzfläche und die Objektfläche, und einen ortsauflösenden Strahlungsdetektor sowie ferner eine Steuerung zum Einstellen einer Mehrzahl verschiedener Frequenzen der von der Strahlung  
10 quelle emittierten Strahlung, und einen Integrator um die bei verschiedenen Frequenzen auf dem Strahlungsdetektor überlagerten Interferenzmuster ortsabhängig zu mitteln.

Weiters wird vorgeschlagen ein Verfahren zum Aufnehmen eines  
15 Interferogramms, ein Verfahren zum Bereitstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche sowie ein Verfahren zum Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Oberfläche.

(Figur 1)

Figur 1 der Zusammenfassung



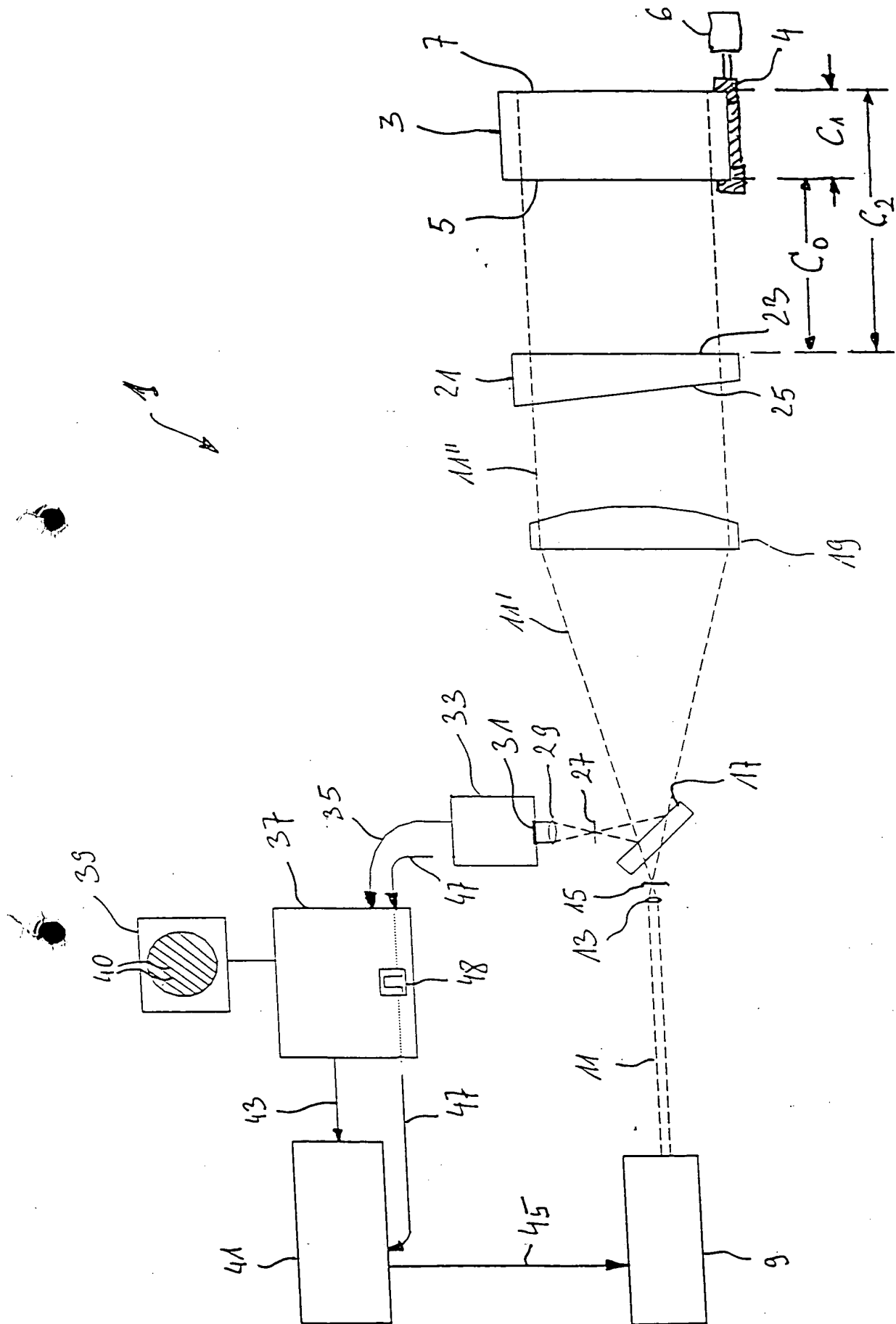
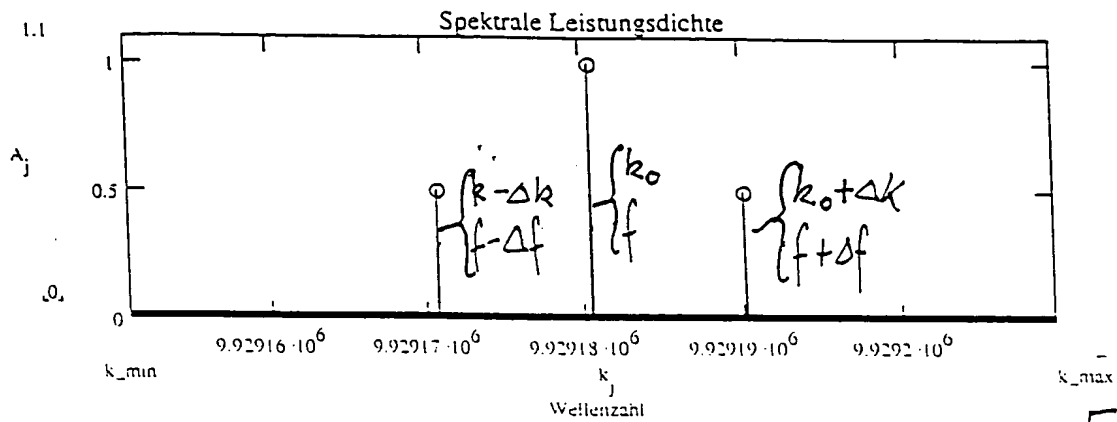
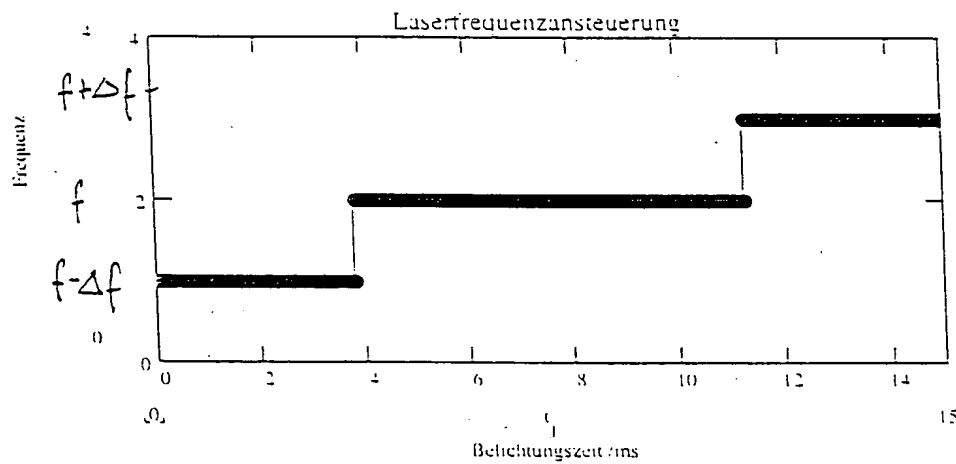
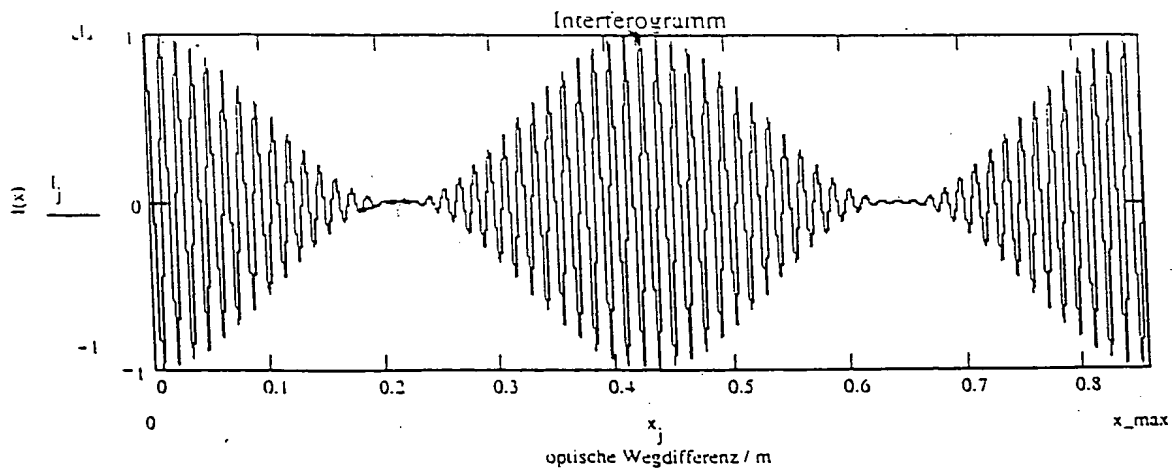


Fig. 1



Fig 2Fig 3Fig 4

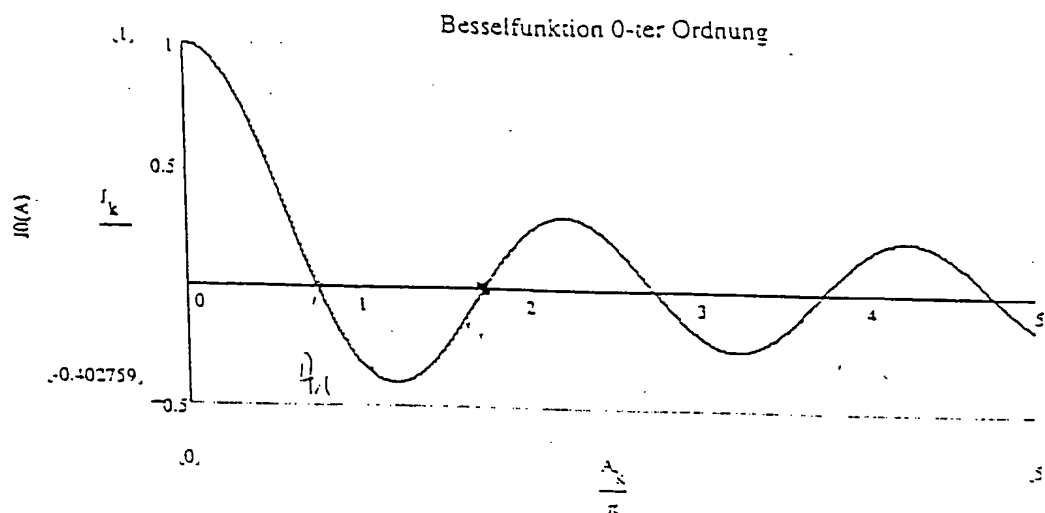


Fig 5

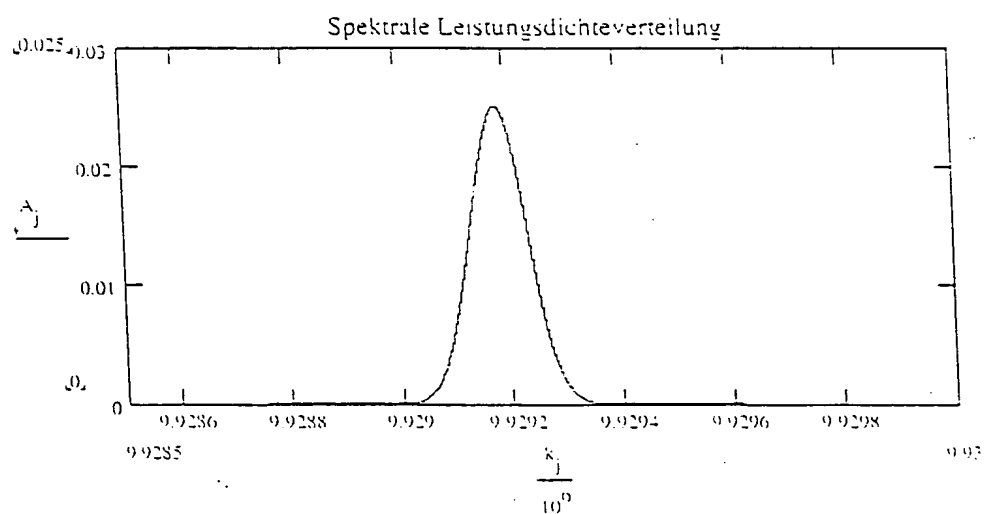


Fig 6

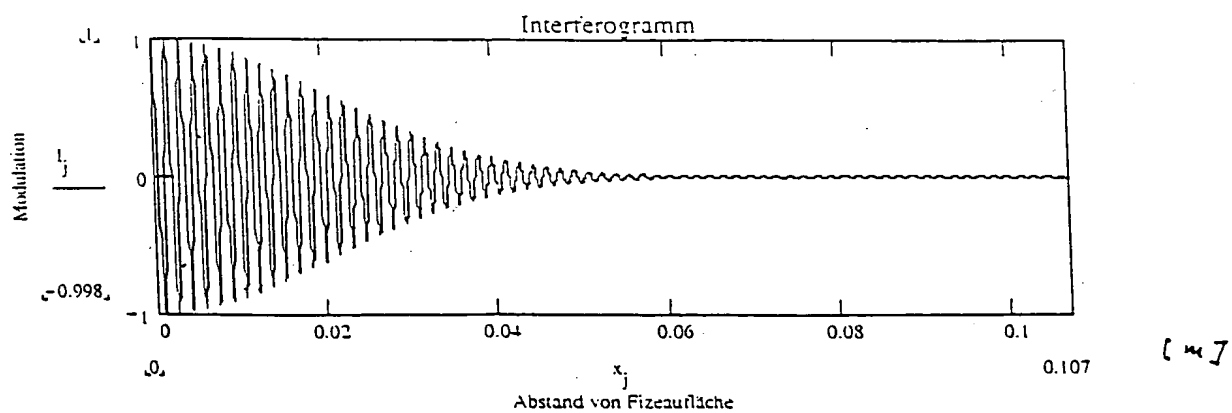


Fig 7

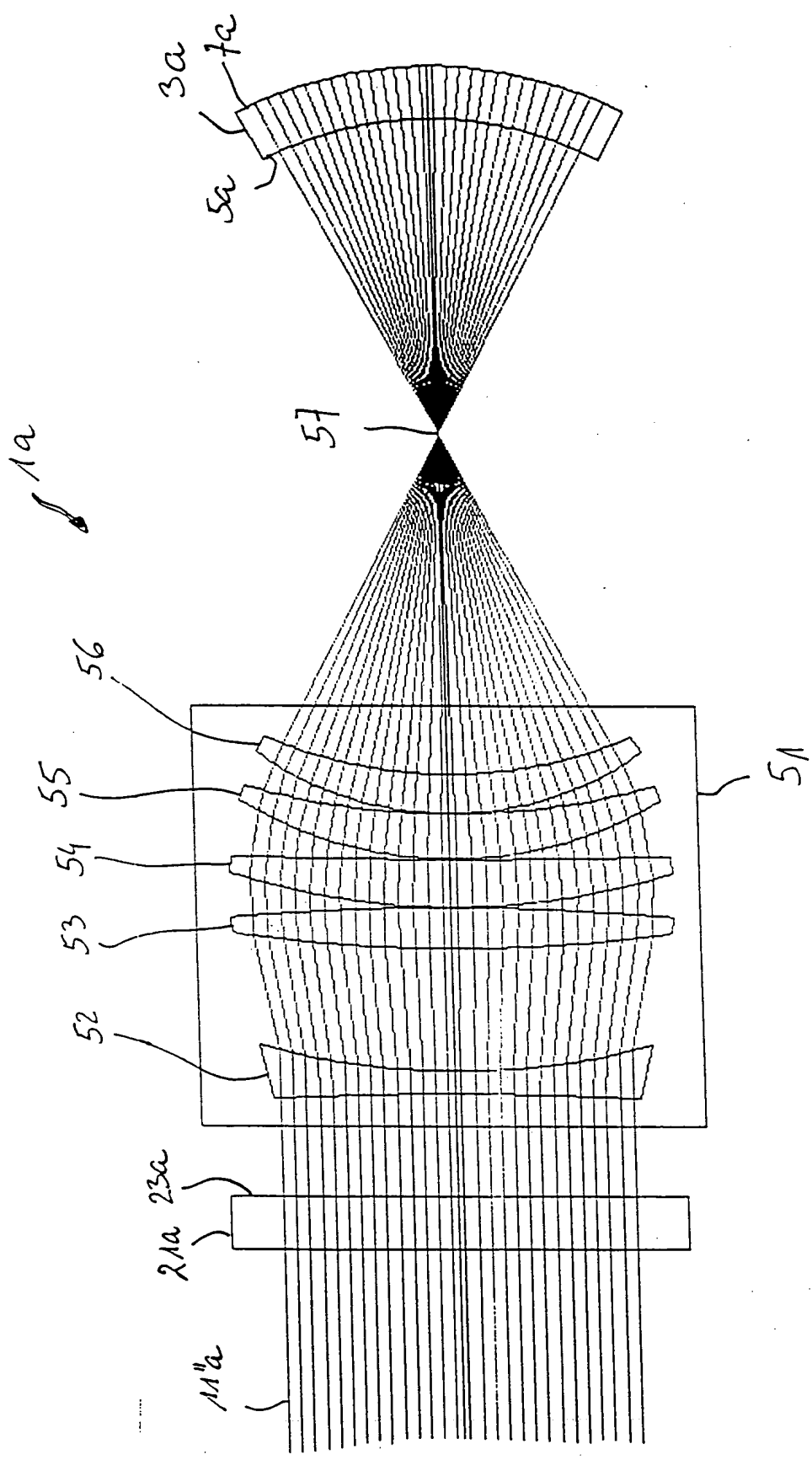


Fig 8

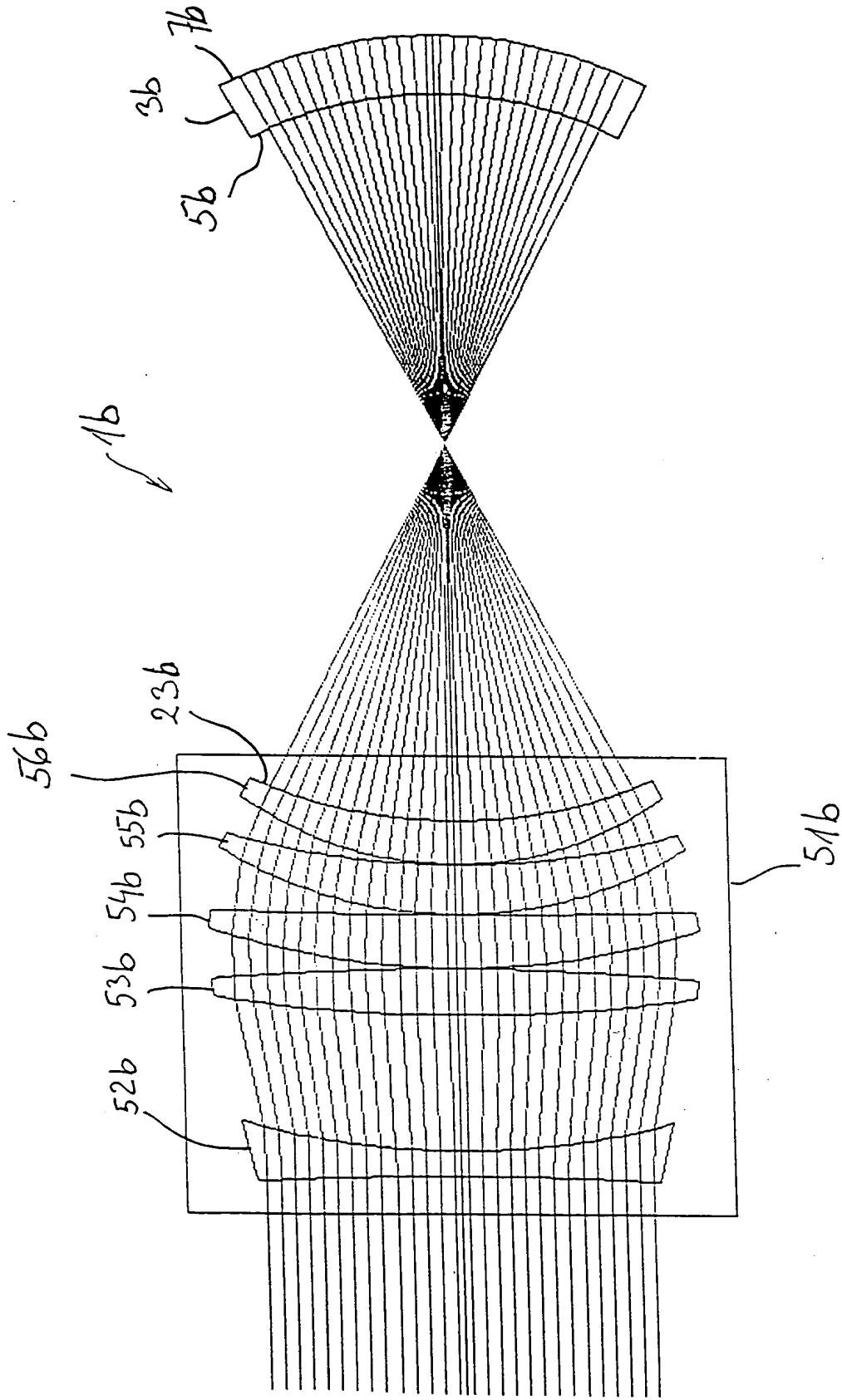


Fig 9